

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕЗМАЗУТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ РАСТОПКИ И ПОДСВЕТКИ НА ОСНОВЕ ПЫЛЕУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА УЛЬТРАТОНКОГО ПОМОЛА

А.П. Бурдуков, Г.В. Чернова *, В.В. Коновалов **, В.Н. Чурашев ***

- Институт Теплофизики СО РАН

E-mail: TES@older.power.nstu.ru

** - ОАО «Алтайэнерго»

*** - Институт Экономики и организации промышленного производства СО РАН

1. Тенденции топливообеспечения тепловых электростанций сибирского региона

Как в настоящее время, так и в перспективе, теплоэнергетика сибирского региона будет ориентироваться на использование угля [1].

По ретроспективе это видно из приведенной в таблице динамики структуры потребления топлива на тепловых электростанциях в Сибирьэнерго за 1996 – 2000 г.г. Топливообеспечение имеет явно выраженную угольную направленность, при этом с устойчиво падающей долей мазута (с 5,6 до 0,8 %).

Динамика структуры потребления топлива в Сибирьэнерго

	1996		1997		1998		1999		2000	
	Тыс.тут	%	тыс.тут	%	тыс.тут	%	тыс.тут	%	тыс.тут	%
Топливо, всего	26940,2	100	39678,4	100	42700,1	100	42195,5	100	43765,1	100
Уголь, всего	23377,8	86,8	36364,5	91,6	39801,2	93,2	38831,0	92,0	40302,3	92,1
Канско-ачинский уголь	6812,3	25,3	5995,8	15,1	6957,8	16,3	8761,0	20,8	13523,7	30,9
Кузнецкий уголь	5743	21,3	13998,8	35,3	16615,3	38,9	16231,8	38,5	16040,4	36,7
Прочие угли	10822,5	40,2	16369,9	41,3	16228,1	38,0	13838,2	32,8	10738,2	24,5
Газ	2045,2	7,6	1915,6	4,8	2113,9	5,0	2825,3	6,7	3092,5	7,1
Мазут	1514,8	5,6	1397,5	3,5	784,5	1,8	538,7	1,3	370,2	0,8
Прочие	2,39	0,01	0,85	0,002	0,529	0,001	0,466	0,001	0,129	0,0003

Новая топливная политика, осуществляемая РАО «ЕЭС России», направлена на сокращение использования мазута и газа в большой энергетике и увеличение использования угля.

Однако, качество поступающих на тепловые станции углей создает ряд технологических проблем. Поступление одновременно углей различных шахт, разрезов и обогатительных фабрик с меняющимися во времени пропорциями, что характерно для всех энергопредприятий, приводит к ненадежной и неэкономичной работе котлов, возрастанию потерь тепла с механическим недожогом.

Промышленный опыт эксплуатации котлов ТЭС Сибирского региона показывает, что в среднем для энергетического котла порядка 250 Гкал /час (котлы серии ТП-80, БКЗ-420) только из-за изменения качества угля дополнительно ежегодно увеличивается число вынужденных остановов на 1-2, использование мазута для «подсветки» и для дополнительных растопок приблизительно на 100 т/год, а энергозатраты на собственные нужды возрастают на 2-3 %.

Для улучшения воспламенения и стабилизации горения низкосортных углей осуществляются дополнительные мероприятия: повышаются тонина помола угольной пыли (до $R_{90} = 6-8\%$, где R_{90} - остаток на сите с ячейкой 90 мкм) и подогрев вторичного воздуха (до 670 К) и аэросмеси (410 К), обеспечивается подача угольной пыли высокой концентрации ($\mu = 50$ кг/кг) с последующим разбавлением до $\mu = 0,5-1$ кг/кг и, наконец, производится сжигание низкосортных углей совместно с мазутом. В последнем случае мазут используется для стабилизации горения пылеугольного факела и стабилизации выхода жидкого шлака в топках с жидким шлакоудалением.

Также производится растопка пылеугольных котлов с подачей на последних стадиях растопки угольной пыли при работающих мазутных форсунках, т.е. на стадии так называемого «подпыливания».

Однако, упомянутые методы повышения эффективности воспламенения и стабилизации горения пылеугольного факела, включая термохимическую подготовку углей к сжиганию с использованием мазутного предтопка, обладают существенными недостатками, снижающими эффективность топливоиспользования и надежность работы котлоагрегата с одновременным ухудшением экологических показателей. Так, повышение тонины помола приводит к значительному перерасходу энергозатрат на помол и усложнению сепарации пыли, что уменьшает КПД-нетто котла; повышение температуры аэросмеси выше 410 К и вторичного воздуха выше 673 К нецелесообразно по причинам пожароопасности работы котлов; использование пыли высокой концентрации на котлах приводит к пульсации горения пылеугольного факела и необходимости мазутной стабилизации последнего.

2. Экономические и технологические и проблемы использования мазута

Мазут является дорогим топливом. В настоящее время его стоимость превышает стоимость угля более, чем в два раза, и приблизилась к соотношению мировых цен мазут/уголь: мировые цены на мазут составляют 80 – 90 долл/тут, на энергетический уголь – 40 – 50 долл/тут. Кроме того, с переходом на более глубокую переработку нефти с высокой долей выхода светлых нефтепродуктов для российской энергетики мазут станет дефицитным топливом, что уже наблюдается. Прогнозируется, что в перспективе для условий сибирского региона соотношение цен мазут/уголь будет соответствовать мировому.

Кроме того, совместное сжигание угля с мазутом приводит к возрастанию мехнедожога топлива, снижению КПД-брутто котлов, повышению выбросов оксидов азота, серы и пятиоксида ванадия. При этом мехнедожог может возрасти в 2-3 раза по сравнению с безмазутным сжиганием, выбросы оксидов азота - в 1,5 раза, оксидов серы на 20-30% и оксидов ванадия на 95-100%, если ванадий содержится только в мазуте. Совместное сжигание твердого и жидкого топлива приводит к ускорению высокотемпературной коррозии поверхностей нагрева и сокращению срока службы стационарного оборудования.

При сжигании мазута вместе с углем в предтопках для предварительной термохимической подготовки топлива указанные недостатки сохраняются, но методы термохимической подготовки топлива повышают реакционную способность низкосортных углей и снижают удельный расход мазута в 2-3 раза по сравнению с традиционной технологией мазутной подсветки факела.

Таким образом, существуют экономические и технологические предпосылки к переходу на безмазутные технологии сжигания угля.

3. Отечественный опыт по разработке системы плазменной растопки и подсветки

В 80-е годы научно-исследовательские работы, проведенные в ИТФ СО АН, СибНИИЭ и КазНИИЭ, показали, что плазменная технология сжигания пылевидного топлива с помощью электродуговых плазмотронов может выступать как перспективный способ решения задачи высокоэффективного использования низкосортных твердых топлив [2].

В основе плазменной технологии лежит электро-термохимическая подготовка топлив к сжиганию, которая заключается в нагреве электродуговой плазмой небольшой части аэросмеси до температуры полного выделения летучих и частичной газификации коксового остатка.

Использование электродуговой плазмы приводит к многократному (в 3 и более раз) ускорению термохимических превращений топлива и окислителя, а следовательно, и более полному и быстрому выгоранию пылеугольного факела..

Вторым преимуществом плазменной технологии безмазутного воспламенения углей является отказ от совместного сжигания двух видов топлива с различной реакционной способностью: высокореакционного - мазута и низкореакционного - угля.

Третьим преимуществом плазменной технологии воспламенения углей является снижение вредных газовых выбросов (оксидов азота и серы) в 1,5-2 раза по сравнению с процессом совместного сжигания угля и мазута.

При РАО «ЕЭС России» создан Отраслевой Центр плазменно-энергетических технологий (ОЦ ПЭТ), занимающийся разработкой и внедрением систем плазменного розжига и подсветки на пылеугольных котлах (ПРП).

ПРП испытывались и внедрялись на 24-х котлах паропроизводительностью от 75 до 670 т/ч на 14 ТЭС России, Казахстана, Монголии, Китая и Северной Кореи. Всего на угольных ТЭС установлено 66 систем ПРП. Однако, в процессе опытно-промышленных испытаний безмазутного розжига и подсветки котлов и эксплуатации ПРП возникла проблема, связанная с необходимостью повышения ресурса плазмотронов для подсветки при использовании углей с низким выходом летучих (10% и ниже).

Дальнейшим развитием этой технологии для энергопредприятий, использующих некачественные угли и с низким выходом летучих, может быть применение ПРП с использованием технологий ультратонкого помола углей. В целом уголь ультратонкого помола может играть заметную роль в системах розжига и подсветки пылеугольных котлов.

4. Тонкое и ультратонкое измельчение углей как метод направленного изменения физико-химических свойств

Подавляющее большинство областей использования углей связано с измельчением, уровень которого определяется видом химико-технологической переработки. Известно, что с увеличением тонкости и величины удельной поверхности ΔS возрастает поверхностная энергия $\Delta G_{\text{пов}}$

$$\Delta G_{\text{пов}} = \sigma \Delta S_{\text{пов}},$$

где σ - удельная поверхностная энергия.

Однако с крупности примерно 0,001 мм, угли начинают проявлять особые свойства, резко отличающие их от тех же углей, но большей крупности. Они получили название «микрон-угли».

Аномальные свойства «микрон-углей», например выход битумов и др., не могли быть объяснены только увеличением удельной поверхности. Более детальное изучение свойств явилось основанием рассматривать структурно-химические изменения углей как следствие механохимического процесса.

Тонкодисперсное состояние углей обычно достигается диспергированием в мельницах повышенной энергонапряженности в сравнении с обычными барабанными мельницами: вибрационных, струйных, планетарных, а также специальных размалывающих аппаратах, среди которых наиболее распространены дезинтеграторы.

Следует отметить, что и в барабанных мельницах, где диспергирование достигается гравитационной силой шаров, при достаточном времени измельчения можно получить высокую тонкость веществ.

Для целей ультратонкого измельчения широко распространены вибрационные мельницы, эффективность помола в которых определяется числом вибраций барабанов и их амплитудой, временем измельчения и рядом других технологических показателей.

Эффективность вибромельниц удобно характеризовать соотношением

$$\Phi = \frac{\alpha \omega^2}{g} = k \eta n^2,$$

где Φ – кратность ускорения кругового колебания (центробежный фактор), часто выражаемый в единицах силы тяжести;

α – амплитуда колебаний;

η – число вибраций барабана;

ω – угловое ускорение

g – гравитационное ускорение;

k – коэффициент, зависящий от размерностей.

Промышленные вибромельницы характеризуются значением Φ , равным 16-12 при амплитуде 4...6 мм и энергонапряженности $(0,8...1,2)10^{-3}$ кВт.ч/см³ объема камеры. Но в настоящее время созданы машины, в которых значение Φ , определяющее уровень энергетических воздействий, в несколько раз выше. Такие машины, часто называемые виброцентробежными ввиду приближения траектории движения к круговой, являются весьма перспективными для ультратонкого измельчения углей. Примером могут служить трехсекционные вибромельницы, созданные ИХТТМХ СО РАН и выпускаемые в ПК "Механохимия" (г. Новосибирск) [3]. Эти мельницы позволяют регулировать ударно-истирающий режим обработки и создать нужную степень тонкости и структурной измененности минеральных веществ.

5. Мировой опыт применения ультратонкого помола угля

В США создана компания MicroFuel Corporation, занимающаяся поставкой оборудования по микропомолу. Первоначально уголь микропомола производился как экономичное по цене топливо для замены газа и мазута в объектах промэнергетики.

Основное направление работы по ультратонкому помолу – исследование возможностей использования микроугля при запуске котла. Работы проводились с использованием систем помола MicroFuel Corporation на Duke Power Company Cliffside station на блоке 600 mw в Nord Carolina. Микроуголь при этом – с размером частиц

80÷90% меньше 43 микрон (сито 325 mesh). Для обеспечения требуемого размера частиц при помоле использован внешний центробежный классификатор. Запуск на угле микропомола проводился без подогрева воздуха на «холодном» котле. Мельницы – на 5 т/час угля при затратах энергии ~ 22 кВт.ч/т. Основные проблемы – создание специальных горелок для микроугля в тангенциальной топке, модификация систем подачи угля от микромайзера до горелок, согласование с существующей системой автоматизации процесса, регулирование подачи микроугля к горелкам, установка специальных бустерных вентиляторов. Следует отметить, что подача микроугля на большие расстояния (десятки метров, как в этой схеме) чревата агрегированием частиц с образованием кластеров с размерами, намного превышающими исходные размеры частиц, что может в существенной мере снизить эффективность сжигания микроугля.

Уголь микропомола использовался при розжиге котлов также фирмой Steinmuller (Германия), для чего была разработана специальная растопочная горелка.

Вообще для получения микроугля возможны 2 пути – сепарация мелкой фракции пыли из обычной системы пылеприготовления или создание специальных систем микропомола.

При сепарации микродисперсной пыли и подаче ее в специальный бункер для последующего использования возникает ряд технологических проблем, связанных с подачей слежавшейся в бункере пыли, повышенной взрывоопасностью при хранении, громоздкостью систем сепарации тонкодисперсной пыли.

Однако наиболее благоприятные условия для сжигания реализуются, когда мелкодисперсную пыль можно подавать непосредственно из мельницы в горелку, так как при этом сохраняется повышенная химическая активность угля, возникающая в процессе помола, исключающая проблемы, связанные с хранением мелкодисперсной пыли.

Схемы с сепарацией пыли и отдельной системой пылеприготовления были опробованы на блоках 150 и 350 МВт на электростанции Lunen в Германии в начале 80-х годов.

Аналогичные исследования проводятся в США, где по данным Union Carbide Corporation доля сжигаемого на угольных ТЭС растопочного мазута находится в среднем на уровне 6% от расхода основного топлива и поэтому замена более дорогостоящего мазута углем, несомненно, актуальна. Здесь пошли еще дальше – разрабатываются проекты использования микродисперсного угля в системах Rebening для подавления окислов азота [55], а также для создания котлов с углем микропомола как основного топлива для замены мазута в мазутных котлах.

6. Разработка технологии безмазутной плазменной растопки и подсветки при применении ультратонкого помола угля

В настоящее время в Институте теплофизики СО РАН создан стенд и начаты исследования по сжиганию углей различных типов при ультратонком помоле с целью изучения механизма скорости горения и газификации углей различной степени метаморфизма для определения условий создания технологических устройств в системах снижения уровней выбросов NO_x , розжига и подсветки пылеугольных котлов, замены топлива в газо-мазутных котлах. На стенде смонтирован предтопок с прямоточной и вихревой горелкой, оснащенный системой ПРП. Ультратонкий помол угля (до 20 мкм) осуществляется виброцентробежной мельницей ВЦМ 10К. Стенд оснащен комплексом электронных и газоаналитических приборов для сбора, контроля и обработки

информации по экологически чистому сжиганию. Результаты работ будут использованы при промышленных испытаниях на объектах энергетики.

Впервые в отечественной практике перевод мазутного поджига на систему ПРП с ультратонким помолом угля осуществляется на пылеугольном котле БКЗ-210-140Ф Барнаульской ТЭЦ-2, на которую поступают угли разных разрезов кузнецкого бассейна и с низким выходом летучих.

Как выше было отмечено, наиболее благоприятные условия для сжигания реализуются, когда ультратонкую пыль можно подавать непосредственно из мельницы в горелку, так как при этом сохраняется повышенная химическая активность угля, возникающая в процессе помола, исключая проблемы, связанные с хранением мелкодисперсной пыли.

Реконструкция котла предусматривает разработку и внедрение 2-х узлов: ультратонкого помола угля, системы ПРП, а также разработку нестандартных элементов для осуществления процесса подачи и сжигания топлива.

Система ультратонкого помола осуществляется с помощью 2-х виброцентробежных мельниц ВМК-30 производительностью 1,5 т/час, изготавливаемых в ПК «Механохимия». Установка мельниц предусматривается непосредственно перед узлом подачи угольной пыли.

Ультратонкий помол угля, кроме выше перечисленных технологических достоинств, позволяет также снизить мощность и число установленных плазмотронов в системе ПРП.

Система ПРП мощностью 100 кВт состоит из одного двухпостового источника питания ПРП мощностью 100 кВт, двух плазмотронов мощностью по 50 кВт каждый с регуляторами расхода воздуха, двух сглаживающих дросселей, двух токоограничивающих сопротивлений, двух осцилляторов и двух ЗИПов к плазмотрону. Все названное оборудование изготавливается на ОЦ ПЭТ РАО «ЕЭС России».

Нестандартные элементы включают в себя муфельный предтопок, узлы ввода угольной пыли, разгонное устройство топливной смеси, разгрузитель-отвеиватель топливной крупки, бункер-накопитель крупки. Это оборудование изготавливается на ТЭЦ -2 «Алтайэнерго» с привлечением к разработке специалистов ОАО «Новосибирсктеплоэлектропроект» и Института Теплофизики СО РАН.

Расчеты экономической эффективности Проекта с использованием бухгалтерской отчетности предприятия и в ценах и нормативах III-го квартала 2001 г. (оборудование, топливо, энергия, банковские ставки и др.), проведенные в Институте Экономики и организации промышленного производства СО РАН, позволяют характеризовать инвестиционный проект освоения системы ПРП с ультратонким помолом угля для условий базового варианта как привлекательный для инвесторов. За 10 лет эксплуатации удастся обеспечить благоприятные значения показателей эффективности проекта: ЧДД-1441 тыс. руб., ИД – 1,81, ВНД – 28%, срок возврата инвестиций – 5,7 лет.

Выводы

1. Основным видом топлива для тепловых электростанций сибирского региона, как в настоящее время, так и в перспективе, будут оставаться угли, качество которых будет снижаться. Используемый для розжига и подсветки мазут целесообразно вытеснять либо газом (где это возможно), либо углем с применением новых технологических мероприятий.

2. Энергоэффективное безмазутное сжигание угля на ТЭС может быть

осуществлено путем применения уже существующих в отечественной практике систем плазменного розжига и подсветки, изготавливаемых в ОЦ ПЭТ «РАО «ЕЭС России» (г. Гусиноозерск), и ультратонкого помола мельницами ВЦМ ЗОК, разработанными в г. Новосибирске в кооперативе «Механохимия».

Литература:

1. Бурдуков А.П., Чернова Г.В., Чурашев В.Н. Угольная направленность развития теплоэнергетики Сибирского региона: технологические и технические аспекты ее осуществления // Труды Международной конференции «Восточная энергетическая политика России и проблемы интеграции в энергетическое пространство Азиатско-Тихоокеанского региона». - Иркутск, 1998.
2. Научно-технические основы и опыт эксплуатации плазменных систем воспламенения углей на ТЭС (безмазутная растопка котлов и стабилизация горения пылеугольного факела)/ Е.И. Карпенко, М.Ф. Жуков, В.Е. Мессерле и др. - Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998.
3. Денисов М.Г., Денисов Г.А., Носиков Г.П. Патент 2001680 РФ, 1680,1993.

Работа выполнялась при поддержке Фонда РФФИ N01-05-96-211 P98.

УДК 621.18:662.62

ОБ ОСНОВНОМ И РЕЗЕРВНОМ ТОПЛИВЕ ДЛЯ РАСТОПКИ ПЫЛЕУГОЛЬНЫХ КОТЛОВ

Ю.Н. Дубинский^{*}, А.П. Бурдуков^{**}, А.В. Моторин, В. А. Зюзин^{***}

^{*} - ОАО «Новосибирсктеплоэлектропроект»,

^{**} - институт Теплофизики СО РАН,

^{***} - ОАО «Алтайэнерго»

Сложившаяся в последние 50...60 лет практика проектирования и эксплуатации пылеугольных котлов электростанций безальтернативно рассматривала мазут в качестве топлива для растопки и стабилизации процесса горения в камерных топках.

На станции, сжигающей уголь, всегда хранится нормативный (или определённый из конкретных условий эксплуатации фактический) запас мазута, обеспечивающий потребность на растопки, подсветку и прочие нужды.

Использование мазута при существующей системе его приёма, хранения и распределения, кроме затрат на его покупку требует также и непрерывных затрат на:

- разогрев (поддержание температуры) мазута;
- постоянную прокачку мазута с целью обеспечения проходимости рециркуляционных петель, а также для осреднения свойств мазута по хранилищу.

Ввиду наличия запаса мазутная система растопки и подсветки самодостаточна и не нуждается в резервировании. Речь может идти лишь о создании альтернативной ей замещающей системы, обладающей определёнными преимуществами, например, наряду с пониженными затратами на сжигаемое в ней топливо, минимальными расходами на поддержание её в рабочем состоянии как в процессе штатного функционирования, так и в процессе поддержания её в оперативной готовности. Поскольку затратное состояние